

تحلیل تطبیقی چارچوب‌های حقوقی و اقتصادی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت و گاز

محمدهادی رستمی^۱، محمدزمان رستمی^۲

چکیده

تحولات ناشی از انقلاب صنعتی چهارم و ظهور فناوری‌های نوین مانند بلاک‌چین، صنعت نفت و گاز را نیز تحت تأثیر قرار داده است. در این میان، قراردادهای هوشمند به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی بلاک‌چین، ظرفیت آن را دارند که بسیاری از موانع سنتی این صنعت از جمله فساد اداری، ناکارآمدی نهادی، تأخیر در پرداخت‌ها و فقدان شفافیت کافی را برطرف کنند. مقاله حاضر با رویکردی نهادی حقوقی و با بهره‌گیری از روش تحلیل توصیفی تحلیلی، به بررسی ابعاد حقوقی، اقتصادی و اجرایی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت و گاز ایران پرداخته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که این قراردادها با اتکا به ویژگی‌هایی همچون خوداجرا بودن، تغییرناپذیری و شفافیت می‌توانند هزینه‌های مبادله‌ای را کاهش داده، اعتماد میان طرفین قرارداد را تقویت کرده و بستر مناسبی برای جذب سرمایه‌گذاران خارجی فراهم آورند؛ در عین حال، فقدان چارچوب‌های تقنینی شفاف، ابهام در تعیین مسئولیت‌ها و ضعف در زیرساخت‌های فنی و نهادی، از مهم‌ترین موانع پیاده‌سازی آن‌ها محسوب می‌شود. نوآوری اصلی مقاله در ارائه چارچوبی مرحله به مرحله برای طراحی و اجرای قراردادهای هوشمند متناسب با ساختار خاص صنعت نفت ایران و همچنین تحلیل تطبیقی استانداردهای بین‌المللی و تجربیات کشورهای پیشرو به خصوص نروژ و امارات متحده عربی است. این چارچوب می‌تواند راهنمایی عملی برای سیاست‌گذاران، قوه مقننه و شرکت‌های نفتی باشد.

واژگان کلیدی: قرارداد هوشمند، بلاک‌چین، صنعت نفت و گاز، حقوق فناوری، اقتصاد نهادی.

۱. استادیار گروه فقه و حقوق اسلامی، دانشکده علوم و تحقیقات اسلامی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران، کشور
rostami@isr.ikiu.ac.ir

۲. دانشیار گروه اقتصاد اسلامی، دانشکده امور اقتصادی و اداری، دانشگاه قم، قم، ایران (نویسنده مسؤول)
Mz.rostami@qom.ac.ir

درآمد

در آستانه قرن بیست و یکم، جهان شاهد تحولی بنیادین در نظام اقتصادی و مناسبات تجاری است؛ تحولی که از آن با عنوان «انقلاب صنعتی چهارم» یا «تحول دیجیتال» یاد می‌شود. این دگرگونی فناورانه، تمامی صنایع را متأثر ساخته و الگوهای سنتی تولید، توزیع و تعامل اقتصادی را دگرگون کرده است. صنعت نفت به عنوان یکی از راهبردی‌ترین و پیچیده‌ترین بخش‌های اقتصادی جهان، نیز از این روند مستثنا نبوده است. ظهور فناوری‌های نوظهور نظیر اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، زنجیره بلوکی و تحلیل کلان‌داده‌ها، فرصت‌های چشمگیری برای افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و ارتقای شفافیت در صنعت نفت ایجاد کرده است (Tapscott & Tapscott, 2017: 145). در عین حال، مشکلاتی مانند تغییرات اقلیمی، نوسانات قیمت نفت، رقابت فزاینده جهانی و افزایش انتظارات ذی‌نفعان، ضرورت بازاندیشی در شیوه‌های سنتی اداره این صنعت را برجسته‌تر کرده است.

قرارداد هوشمند در اصل یک برنامه رایانه‌ای است که بر بستر بلاک‌چین ثبت می‌شود و به محض تحقق شرایط از پیش تعیین‌شده، به صورت خودکار به اجرا درمی‌آید. این نوع قرارداد در حکم یک توافق دیجیتال است که تعهدات و حقوق طرفین در قالب کد در آن درج شده و بر روی زنجیره بلوکی ذخیره می‌شود. اجرای خودکار این قراردادها موجب افزایش سرعت و کارایی در فرایندهای قراردادی می‌گردد. از آنجا که این قراردادها بر شبکه‌ای غیرمتمرکز مستقر می‌شوند، تمامی طرفین امکان مشاهده و بررسی مفاد آن را دارند؛ موضوعی که شفافیت و اعتماد میان طرفین را تقویت می‌کند. پس از استقرار، تغییر در متن قرارداد غیرممکن بوده و همین امر امنیت و مصونیت در برابر تقلب را تضمین می‌کند. در مقایسه با قراردادهای سنتی، قرارداد هوشمند با حذف واسطه‌ها، کاهش هزینه، افزایش سرعت اجرا و اتکا به سازکار رمزنگاری‌شده، جایگاه ویژه‌ای در روابط حقوقی و مالی یافته است (Casino et al., 2019: 68).

با وجود مزایای متعدد، قراردادهای هوشمند خالی از ایراد نیستند و برخی محدودیت‌ها و مخاطرات در خصوص آن‌ها قابل ذکر است. نخست،

این قراردادها در معرض تهدیدهای سایبری قرار دارند و به همین دلیل، نیازمند به‌کارگیری تدابیر امنیتی پیشرفته و ممیزی دقیق کد پیش از استقرار هستند (Ivanov, Li, Yan, Sun, Cao & Luo, 2023 : 25). از منظر حقوقی نیز، نظام‌های قانونی حاکم بر قراردادهای هوشمند هنوز در حال شکل‌گیری‌اند و پرسش‌هایی در خصوص مسئولیت، صلاحیت قضایی و حفظ حریم خصوصی باقی مانده است.

انگیزه طراحی قراردادهای هوشمند عمدتاً در حوزه خدمات مالی و رمزارزها شکل گرفت، اما با گسترش اقتصاد دیجیتال و ظهور شبکه‌های توزیع‌شده، دامنه کاربرد این ابزار به صنایع مختلف گسترش یافت. در بخش‌هایی که دارای زنجیره تأمین گسترده، معاملات پیچیده و نیاز به شفافیت بالا هستند مانند انرژی، حمل‌ونقل، کشاورزی، بیمه و ساخت و ساز قراردادهای هوشمند کارکردی مؤثر یافته‌اند. برای نمونه گفته شده است که در زنجیره تأمین و لجستیک، این قراردادها امکان ردیابی کالا، تأیید کیفیت و تسویه حساب خودکار را فراهم می‌سازند و بدین ترتیب ریسک تقلب کاهش می‌یابد و هماهنگی میان ذی‌نفعان افزایش پیدا می‌کند (Xu, Chong & Chi, 2021: 7). در بخش کشاورزی، بیمه‌های شاخص‌محور بر پایه قراردادهای هوشمند طراحی شده‌اند تا در صورت تغییر شرایط اقلیمی، غرامت به‌طور خودکار پرداخت شود (Pranto, Noman, Mahmud & Haque, 2021: 15). در بخش انرژی الکتریکی نیز، این فناوری تبادل مستقیم برق میان تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان را ممکن کرده و پرداخت‌ها را به صورت آنی تنظیم می‌کند (Lu, Wu, Cheng, Song & Xiang, 2021: 448) و در صنایع بیمه، سلامت، ساخت و ساز و املاک، اجرای خودکار تعهدات، کاهش تأخیرها و تضمین پرداخت‌ها از مزایای اصلی محسوب می‌شود (Gatteschi, Lamberti, Demartini, Pranteda, & Santamaría, 2018: 12).

با وجود گستردگی این کاربردها، صنعت نفت و گاز به دلیل ماهیت فراملی، زنجیره تأمین پیچیده، ارزش بالای مبادلات و ریسک‌های فنی و سیاسی، یکی از مستعدترین حوزه‌ها برای بهره‌گیری از قراردادهای هوشمند است. در این صنعت،

قراردادهای حفاری، تولید، انتقال، پالایش و صادرات نفت خام می‌توانند به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شوند که تنها پس از تحقق شرایطی چون تأیید کیفیت و حجم، ثبت موقعیت محموله یا وصول وجه، انتقال مالکیت صورت گیرد. بدین ترتیب، ریسک تأخیر، جعل اسناد و فساد به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. همچنین در پروژه‌های مشترک نفتی، این قراردادها با ثبت و تحلیل خودکار داده‌های مالی، نظارت بر هزینه‌ها و توزیع سهم‌ها را شفاف‌تر می‌کنند و اعتماد میان طرفین را افزایش می‌دهند؛ موضوعی که در شرایط تحریم و محدودیت تعاملات بین‌المللی اهمیت مضاعف دارد (Mohammadi, 2023: 34). در مجموع، قراردادهای هوشمند با ویژگی‌هایی چون خوداجرا بودن، تغییرناپذیری و شفافیت، الگویی نوین از روابط قراردادی در صنعت نفت و گاز ارائه می‌کنند.

صنعت نفت ایران با وجود برخورداری از ذخایر عظیم انرژی و جایگاه محوری در اقتصاد ملی، در دهه‌های اخیر با معضلاتی مواجه بوده است. تحریم‌های بین‌المللی، محدودیت در دسترسی به فناوری‌های نوین و سرمایه‌گذاری خارجی، در کنار مشکلات داخلی همچون فساد اداری، ناکارآمدی و استفاده از فناوری‌های منسوخ، کارایی این صنعت را تضعیف کرده‌اند (شکوهی و پاکدامن حقیقی، ۱۳۹۴: ۳۰). افزون بر این، فشارهای ناشی از الزامات زیست‌محیطی بین‌المللی و تغییرات اقلیمی، ضرورت حرکت به‌سوی سازکارهای شفاف و فناورانه را دوجندان ساخته است. در چنین شرایطی، بهره‌گیری از ظرفیت‌های تحول دیجیتال ضرورتی راهبردی برای پایداری و رقابت‌پذیری صنعت نفت ایران است.

فناوری بلاک‌چین و به‌ویژه قراردادهای هوشمند، در صورت انطباق با ساختار حقوقی و اقتصادی کشور می‌توانند به کاهش هزینه‌های مبادله‌ای، ارتقای شفافیت، کاهش زمینه‌های فساد و بهبود اثربخشی فرایندهای قراردادی کمک کنند. برای مثال، در زنجیره تأمین نفت، قراردادهای هوشمند قادرند از مرحله استخراج تا پالایش و توزیع، فرایندها را خودکار و شفاف سازند. ثبت داده‌ها و تراکنش‌ها بر بستر بلاک‌چین، امکان ردیابی، کنترل کیفیت، تسویه‌حساب خودکار و نظارت لحظه‌ای را فراهم می‌کند و از بروز خطا، تأخیر و تقلب جلوگیری به عمل می‌آورد (نصیری و ریاضی و لادن و امین‌موسوی و سلیمیان، ۲۰۲۵: ۱۷۵). همچنین در حوزه‌هایی

مانند ایمنی، بیمه، بهداشت صنعتی و مدیریت بحران، قراردادهای هوشمند می‌توانند ابزارهای قابل اتکایی برای اجرای دقیق مقررات و الزامات قانونی باشند (اسمعیلی پائین افراکتی و یونسی، ۱۴۰۴: ۲۲).

با وجود این ظرفیت‌ها، مسأله اصلی پژوهش حاضر به وجود خلأ در چارچوب‌های حقوقی و اقتصادی لازم برای پذیرش و اجرای قراردادهای هوشمند در صنعت نفت ایران بازمی‌گردد. در حال حاضر، نظام حقوقی کشور فاقد قواعد روشن درباره اعتبار، نحوه اجرای تعهدات، فسخ، تعدیل و حل و فصل اختلافات در بستر قراردادهای هوشمند است. همچنین ملاحظات مربوط به حفظ حریم خصوصی و امنیت داده‌های تجاری هنوز به‌طور نظام‌مند در قوانین ملی تعریف نشده‌اند. از این رو، پرسش محوری این پژوهش آن است که: چارچوب حقوقی و اقتصادی مناسب برای پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت ایران کدام است و چگونه می‌توان از تجارب بین‌المللی برای طراحی این چارچوب بهره گرفت؟

در خصوص پیشنهاد موضوع، ورباخ و کورنل (۲۰۱۷) با بررسی قراردادهای هوشمند از منظر حقوقی و با استفاده از روش تحلیل تطبیقی، نشان می‌دهند که ماهیت خوداجرایی این قراردادها مشکلات جدیدی برای نظام‌های حقوقی سنتی ایجاد می‌کند و نتیجه می‌گیرند که توسعه قراردادهای هوشمند مستلزم بازتعریف ساختار حقوق قراردادهاست. آرتزنی و همکاران (۲۰۱۷)، با تحلیل فنی حملات انجام‌شده به قراردادهای هوشمند در بستر اتریوم و با استفاده از روش تجربی نشان می‌دهند که ضعف امنیتی و نقص در کدنویسی یکی از مهم‌ترین موانع گسترش این قراردادهاست. و نتیجه می‌گیرند که استانداردسازی امنیتی برای کاهش مخاطرات ضروری است. السقف و زایدلر (۲۰۱۷) با رویکرد کیفی و مرور تجربیات، به بررسی اثر فناوری بلاک‌چین بر شفافیت اجتماعی پرداخته‌اند و نشان می‌دهند که قراردادهای هوشمند می‌توانند شفافیت و پاسخ‌گویی را در سطوح اقتصادی و سیاسی افزایش دهند و نتیجه می‌گیرند که استفاده هوشمندانه از این ابزار می‌تواند موجب توانمندسازی نهادی شود. ژنگ و همکاران (۲۰۱۷) با روش تحلیل ساختاری، معماری و روندهای آینده بلاک‌چین را بررسی کرده‌اند و نشان می‌دهند که معضلاتی نظیر مقیاس‌پذیری مانع توسعه گسترده این فناوری هستند و نتیجه می‌گیرند که اصلاحات ساختاری و فنی

برای بهره‌برداری صنعتی از بلاک چین لازم است. کازینو و همکاران (۲۰۱۹) با مرور نظام‌مند ادبیات علمی، به طبقه‌بندی کاربردهای بلاک چین پرداخته و نشان می‌دهند که قراردادهای هوشمند در صنایع حساس مانند نفت و زنجیره تأمین قابلیت افزایش بهره‌وری و شفافیت را دارند و نتیجه می‌گیرند که طراحی صحیح آن‌ها مستلزم شناخت دقیق است. آندونی و همکاران (۲۰۱۹) با مرور سیستماتیک کاربرد بلاک چین در حوزه انرژی، نشان می‌دهند که این فناوری می‌تواند به کاهش هزینه، تسهیل تبادل انرژی و ارتقاء بهره‌وری منجر شود و نتیجه می‌گیرند که تحول دیجیتال انرژی وابسته به چارچوب نهادی کارآمد و انطباق‌پذیر است. کوهیزاده و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی موانع پذیرش بلاک چین در زنجیره تأمین و روش مدل‌سازی نظری، نشان می‌دهند که موانع فرهنگی، نبود زیرساخت‌های فناورانه و مقاومت در برابر تغییر، از جمله موانع پذیرش قراردادهای هوشمند هستند و نتیجه می‌گیرند که توسعه این فناوری نیازمند سیاست‌های مکمل آموزشی است. محمدی (۱۴۰۲) با بررسی حقوقی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت و گاز ایران و روش تحلیل محتوای قوانین، نشان می‌دهد که نبود چارچوب حقوقی مشخص، مهم‌ترین مانع پذیرش این فناوری است و نتیجه می‌گیرد که وضع مقررات متناسب با ویژگی‌های فنی قراردادهای هوشمند ضروری است. مقدم و حسینی (۱۴۰۴) نیز نشان می‌دهند هوش مصنوعی می‌تواند کارایی و شفافیت عدالت کیفری را افزایش دهد، اما با موانعی مانند حریم خصوصی، امنیت داده و تبعیض الگوریتمی روبه‌روست؛ بنابراین نتیجه می‌گیرند استقرار آن نیازمند نظارت انسانی و چارچوب قانونی مناسب است. قماش‌ی و صدراللهی (۱۴۰۵)، با بررسی نقش فناوری‌های نوین حقوقی در کنترل سیاست جنایی قضایی ایران، نشان می‌دهند که سامانه‌های هوشمند و نظارت داده‌محور، شفافیت، کارآمدی و پاسخ‌گویی نظام قضایی را افزایش می‌دهند. در نتیجه، این پژوهش‌گذار از نظارت سنتی به سازوکارهای فناورانه و برخط را برای یکسان‌سازی تصمیمات قضایی و ارتقای کیفیت آراء ضروری می‌داند.

پژوهش‌های اخیر عمدتاً به کاربردهای عمومی در تجارت الکترونیک و خدمات مالی پرداخته یا صرفاً جنبه نظری داشته‌اند. این مقاله با تمرکز تخصصی بر صنعت نفت و گاز، قراردادهای هوشمند را به‌عنوان ابزاری حقوقی و اقتصادی برای

بازآرایی سازوکارهای قراردادی در این صنعت راهبردی تحلیل می‌کند. وجه تمایز این پژوهش، تمرکز موضوعی آن بر صنعت نفت و گاز است. نوآوری اصلی این تحقیق، بررسی همزمان ابعاد حقوقی، اقتصادی و اجرایی قراردادهای هوشمند و ارائه چارچوبی مرحله‌به‌مرحله برای طراحی و اجرای آن‌ها در صنعت نفت و گاز ایران است. بسیاری از پژوهش‌های پیشین فاقد رویکرد کاربردی و بومی‌سازی شده بوده‌اند و به الزامات تقنینی و زیرساختی لازم برای پیاده‌سازی این فناوری در بستر حقوقی و اقتصادی ایران کمتر پرداخته‌اند. این مقاله با تحلیل تطبیقی استانداردهای بین‌المللی و تجربیات کشورهای پیشرو، امکان بهره‌گیری گزینشی و متناسب از الگوهای خارجی را در چارچوب اقتضائات داخلی بررسی می‌کند. این مقاله برای دستیابی به اهداف خود، ابتدا ساختار و فرایندهای صنعت نفت را تبیین کرده؛ سپس چارچوب پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در این صنعت را مشخص و نقش آن‌ها را در مدیریت زنجیره تأمین بررسی می‌کند. در ادامه، استانداردها و تجربیات جهانی در توسعه قراردادهای هوشمند نفتی، همراه با موانع و راهکارهای حقوقی و فنی پیاده‌سازی آن‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد و در نهایت، پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت از منظر اقتصادی تحلیل خواهد شد.

۱. صنعت نفت: ساختار، فرایندها و موانع

صنعت نفت و گاز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی جهان، نقشی تعیین‌کننده در تأمین انرژی، رشد اقتصادی و توازن ژئوپلیتیکی کشورها ایفا می‌کند (عقیلی مقدم و عباسی و نصایبان و دامن کشیده، ۲۰۲۰: ۹۵). این صنعت از مراحل ابتدایی اکتشاف تا فرایندهای پیچیده تولید، پالایش، انتقال و توزیع، زنجیره‌ای از عملیات فنی، سرمایه‌بر و پرریسک را در بر می‌گیرد که اغلب در بازه‌های میان‌مدت و بلندمدت به نتیجه می‌رسند. در بسیاری از کشورهای تولیدکننده از جمله ایران، ساختار صنعت نفت و گاز دولتی یا شبه‌دولتی است و به دلیل اهمیت راهبردی آن، سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری در سطوح کلان اقتصادی و امنیتی انجام می‌شود؛ با این حال، فشارهای ناشی از تغییرات اقلیمی، رقابت فزاینده در بازار انرژی، نیاز به شفافیت و ضرورت ارتقای بهره‌وری، بازنگری در الگوهای اجرایی و قراردادی این صنعت را اجتناب‌ناپذیر ساخته است.

ساختار کلی صنعت نفت و گاز در سه بخش اصلی بالادستی، میان‌دستی و پایین‌دستی تعریف می‌شود. بخش بالادستی، که اکتشاف، توسعه و تولید منابع هیدروکربنی را شامل می‌شود، به دلیل نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان، فناوری‌های پیشرفته و دانش تخصصی زمین‌شناسی و مهندسی، بیشترین سهم از ریسک و سرمایه‌گذاری را به خود اختصاص می‌دهد. در ایران، این حوزه عمدتاً تحت مدیریت شرکت ملی نفت و از طریق انعقاد قرارداد با پیمانکاران داخلی و خارجی پیش می‌رود. در مرحله میان‌دستی، انتقال نفت خام و گاز طبیعی به پالایشگاه‌ها یا پایانه‌های صادراتی از طریق شبکه‌های خطوط لوله و تأسیسات جانبی انجام می‌شود که مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی در این مرحله اهمیتی ویژه دارد. در نهایت، بخش پایین‌دستی به فرآیندهای پالایش، صنایع پتروشیمی، توزیع فرآورده‌ها و گازرسانی به مصرف‌کنندگان نهایی می‌پردازد و به‌شدت تحت تأثیر سیاست‌های قیمت‌گذاری، یارانه‌ها و ملاحظات زیست‌محیطی قرار دارد.

بسیاری از موانع سنتی در صنعت نفت و گاز، از قبیل اختلاف در داده‌های ثبت‌شده، سوء استفاده از خلأهای اطلاعاتی در مناقصات و تفسیرهای گوناگون از مفاد قراردادهای، با به‌کارگیری ابزارهای نوین قابل کاهش است. به عنوان مثال، قراردادهای هوشمند مبتنی بر فناوری بلاک‌چین، قابلیت تعریف شروط دقیق و خودکار را در زمینه‌هایی چون پرداخت، تحویل تجهیزات، زمان‌بندی عملیات و کنترل کیفیت دارا هستند. اجرای خودکار این شروط به محض تحقق می‌تواند به صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان و هزینه منجر شده و اختلافات را کاهش دهد، در نتیجه اعتماد متقابل میان طرفین را ارتقا بخشد. با این حال، بهره‌گیری مؤثر از این فناوری‌ها مستلزم توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد صنعت نفت و گاز است. اولاً، مقیاس عظیم پروژه‌ها و گستردگی طرف‌های قراردادی، ایجاب می‌کند سازکارهایی با قابلیت مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری بالا طراحی شوند؛ ثانیاً، ماهیت نوسانی بازار، تحریم‌ها و ریسک‌های سیاسی، فضایی از عدم قطعیت ایجاد می‌کنند که باید به طور دقیق در طراحی قراردادها پیش‌بینی گردد؛ ثالثاً، ساختار متمرکز و گاه بوروکراتیک حاکم بر صنعت نفت، می‌تواند مانعی در برابر پذیرش نوآوری محسوب شود؛ لذا برای غلبه بر این مانع، نیازمند اصلاحات اقتصادی، آموزش نیروی انسانی و تدوین

چارچوب‌های قانونی متناسب هستیم.

صنعت نفت و گاز در حال گذار به سمت الگوهای پایدارتر است. الزامات ناشی از تغییرات اقلیمی، تعهدات بین‌المللی زیست‌محیطی و فشارهای اجتماعی برای کاهش آلاینده‌ها، شرکت‌های نفتی را ناگزیر ساخته تا ضمن حفظ بهره‌وری، نوآوری‌هایی در زمینه کاهش نشت گاز، مدیریت پسماند و بهینه‌سازی مصرف انرژی در دستور کار قرار دهند. این روند فرصتی فراهم کرده است تا قراردادهای نفتی با لحاظ معیارهای زیست‌محیطی بازطراحی شوند (موالی و طالقانی، ۲۰۲۵: ۸۰). بهره‌گیری از قراردادهای هوشمند در این مسیر می‌تواند مؤثر واقع شود؛ زیرا با درج شروط زیست‌محیطی در کدهای اجرایی و اتصال آن‌ها به داده‌های لحظه‌ای، امکان اعمال نظارت دقیق و هم‌زمان فراهم خواهد شد. از سوی دیگر، محدودیت‌های ناشی از تحریم‌های اقتصادی و محدود بودن تعامل با شرکت‌های بین‌المللی، صنعت نفت و گاز ایران را با معضلاتی روبه‌رو کرده است (صادقی و دهقانی فیروزآبادی و آجیلی، ۲۰۱۸: ۹۰). این شرایط ضرورت اتکا به ظرفیت‌های داخلی و افزایش شفافیت در سازکارهای اجرایی را دوچندان می‌سازد. در چنین بستری، قراردادهای هوشمند می‌توانند به‌عنوان ابزاری بومی‌سازی شده عمل کرده و با افزایش شفافیت، کاهش سوء استفاده از منابع عمومی و ارتقای پاسخ‌گویی در نظام اجرایی و نظارتی، کارآمدی بیشتری ایجاد کنند. تمرکز منابع مالی گسترده در پروژه‌های نفتی نیز زمینه‌ای فراهم می‌آورد که اجرای این نوع قراردادها بتواند الگویی نوین از حاکمیت دیجیتال در مدیریت منابع طبیعی ارائه دهد.

بررسی ساختار و فرایندهای صنعت نفت و گاز نشان می‌دهد که به‌رغم پیچیدگی‌های فنی، اقتصادی و حقوقی، این بخش ظرفیت پذیرش نوآوری‌هایی را دارد که با شفافیت، سرعت و دقت بالا جایگزین شیوه‌های ناکارآمد سنتی شوند. در این چارچوب، قراردادهای هوشمند در صورتی که متناسب با واقعیت‌های عملی و حقوقی صنعت طراحی گردند، قادر خواهند بود بسیاری از مشکلات قراردادهای سنتی را برطرف ساخته و به‌عنوان پیشران تحول دیجیتال، ارتقای بهره‌وری و تقویت پایداری در این صنعت ایفای نقش کنند. تحقق این هدف مستلزم همکاری نزدیک سیاست‌گذاران، متخصصان حقوقی، مهندسان و

کارشناسان فناوری اطلاعات است و می‌تواند افق تازه‌ای برای مدیریت منابع نفتی و گازی در ایران ترسیم نماید.

۲. چارچوب پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت و

گاز

چارچوب پیشنهادی برای اجرای قراردادهای هوشمند در صنعت نفت و گاز بر اصولی همچون انطباق با قوانین و مقررات، هماهنگی با نیازهای واقعی صنعت، مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری، تضمین امنیت و قابلیت اطمینان، و سهولت استفاده و پذیرش استوار است. رعایت این اصول موجب می‌شود که راهکار مورد نظر با شرایط خاص این صنعت هماهنگ باشد و امکان اجرا و بهره‌برداری در محیط عملیاتی فراهم شود. اجرای قراردادهای هوشمند در صنعت نفت و گاز مستلزم وجود چارچوبی منسجم و مرحله به مرحله است که با پیچیدگی‌های فنی، اقتصادی و حقوقی این صنعت سازگاری داشته باشد. چنین چارچوبی باید ملاحظات حقوقی و فنی را در کنار الزامات عملیاتی، اقتصادی و ساختاری در بر گیرد. بر همین اساس، شش مرحله اصلی این فرایند به صورت علمی و تحلیلی تشریح می‌شود.

در گام نخست، لازم است حوزه‌هایی شناسایی شوند که بیشترین کارآمدی را از اجرای قراردادهای هوشمند به دست می‌آورند. زنجیره ارزش صنعت نفت و گاز شامل عملیات بالادستی (اکتشاف و تولید)، میان‌دستی (انتقال و ذخیره‌سازی) و پایین‌دستی (پالایش و توزیع) است (محمدی، ۱۴۰۲: ۸۵). هر یک از این بخش‌ها با مسائل گوناگونی از جمله تعدد طرف‌های قرارداد، نبود شفافیت کافی، تأخیر در پرداخت‌ها و تردید نسبت به اجرای دقیق مفاد توافقات مواجه هستند. در این میان، زمینه‌هایی مانند مدیریت زنجیره تأمین، قراردادهای خرید و فروش بین‌المللی نفت خام، اجاره دکل‌های حفاری، مدیریت ریسک‌های مالی و عملیاتی، و نیز پایش و گزارش‌های زیست‌محیطی ظرفیت بالایی برای بهره‌گیری از قراردادهای هوشمند دارند. این ابزار می‌تواند با خودکارسازی مراحل اجرا، کاهش خطای انسانی و ارتقای شفافیت، به بهبود عملکرد و اعتماد میان طرفین کمک کند.

گام دوم به انتخاب پلتفرم بلاک‌چین مناسب اختصاص دارد. پلتفرم‌ها به سه

دسته عمومی مانند اتریوم،^۱ خصوصی مانند هایپرلجر فابریک^۲ و کنسرسیومی مانند کوروم^۳ تقسیم می‌شوند. بلاک‌چین‌های عمومی به دلیل ماهیت باز خود، شفافیت و سطح امنیت بالاتری دارند، اما در مقیاس صنعتی با مشکلاتی نظیر سرعت و هزینه تراکنش‌ها مواجه‌اند. در مقابل، بلاک‌چین‌های خصوصی و کنسرسیومی این امکان را فراهم می‌کنند که دسترسی، شیوه حکمرانی و قواعد پردازش اطلاعات در اختیار بازیگران اصلی شبکه باشد. برای صنعت نفت و گاز، که حفاظت از داده‌های محرمانه و امنیت اطلاعات اهمیت ویژه دارد، استفاده از پلتفرم‌های کنسرسیومی مناسب‌تر ارزیابی می‌شود؛ زیرا ضمن حفظ سرعت پردازش، قابلیت کنترل بیشتری در اختیار اعضای زنجیره ارزش قرار می‌دهد.

مرحله سوم به طراحی دقیق و حقوقی قراردادهای هوشمند مربوط می‌شود. این طراحی صرفاً به کدنویسی محدود نیست، و نیازمند شناخت دقیق روابط حقوقی، ساختارهای قراردادی و مخاطرات بالقوه در تعاملات طرفین است. در این مرحله باید شروط اساسی قرارداد شامل شرایط تحویل، نحوه پرداخت، جریمه تأخیر، شیوه حل و فصل اختلافات و سایر موارد به صورت دقیق تعیین و به زبان کد قابل پیاده‌سازی شود (Werbach & Cornell, 2017: 326). این فرایند تنها با همکاری میان متخصصان حقوق قرارداد، کارشناسان فنی و تحلیل‌گران تجاری امکان‌پذیر است. آنچه در این مرحله اهمیت دارد، پیش‌بینی همه احتمالات، از جمله نقض تعهدات، شرایط فورس‌ماژور، تغییر قیمت‌ها و نوسانات ارزی است؛ زیرا قراردادهای هوشمند به صورت خودکار اجرا می‌شوند و هرگونه ضعف در طراحی می‌تواند تبعات مالی و حقوقی قابل توجهی به دنبال داشته باشد.

در گام چهارم، پس از طراحی، قراردادهای هوشمند با استفاده از زبان‌هایی مانند سالیدیتی^۴ در اتریوم^۵ یا چین‌کُد^۶ در هایپرلجر فابریک^۷ نوشته می‌شوند. فرایند

1. Ethereum

2. Hyperledger Fabric

3. Quorum

4. Solidity

5. Ethereum

6. Chaincode

7. Hyperledger

کدنویسی باید به گونه‌ای باشد که امنیت و کارایی تضمین گردد. پس از آن، قراردادها در محیط‌های شبیه‌سازی شده اجرا می‌شوند تا عملکرد آن‌ها در شرایط مختلف سنجیده شود. آزمون‌هایی نظیر تست امنیت، آزمون تحمل خطا و آزمون عملکرد در شرایط غیر عادی در این مرحله ضروری است. چنین بررسی‌هایی احتمال بروز خطاهای پرهزینه در محیط واقعی را به حداقل می‌رساند. ابزارهایی مانند ترافل^۱، گانش^۲ و ریمیکس^۳ در این فرایند کاربرد فراوان دارند. پس از آن که عملکرد قراردادها در محیط آزمایشی تأیید شد، مرحله استقرار در شبکه اصلی یا مین‌نت^۴ آغاز می‌شود. در این مرحله، رعایت تدابیر امنیتی همچون مدیریت کلیدهای خصوصی، کنترل دسترسی و پایش مستمر تراکنش‌ها اهمیت اساسی دارد. افزون بر این، باید سازگاری برای نظارت دائمی بر عملکرد قراردادها و شناسایی نقاط ضعف احتمالی پیش‌بینی شود. در صورت نیاز به به‌روزرسانی قراردادها، استفاده از الگوهایی مانند «پروکسی قرارداد^۵» توصیه می‌شود تا امکان ارتقاء بدون اختلال در عملکرد فراهم گردد. در صنعت نفت، که عملیات پرهزینه و حساس اجرا می‌شود، چنین سازکارهای نظارتی از اهمیت ویژه برخوردار است.

۳. قراردادهای هوشمند و مدیریت زنجیره تأمین در صنعت نفت

مدیریت زنجیره تأمین در صنعت نفت به دلیل حجم بالای تراکنش‌ها، تنوع فعالیت‌ها و تعدد ذی‌نفعان، از پیچیده‌ترین فرایندهای مدیریتی به شمار می‌رود (مهری بابادی و ایران‌زاده و فتحی هفشجانی و سلیمانی و کیومرث، ۲۰۲۲: ۱۰۰). در بسیاری از شرکت‌های نفتی، فرایند تأمین کالا و تجهیزات همچنان با چالش‌هایی همچون نبود شفافیت در انتخاب تأمین‌کنندگان، تأخیر در پرداخت‌ها، دشواری ردیابی کالا و نگرانی نسبت به اصالت تجهیزات مواجه است. به نظر می‌رسد بخش مهمی از این مشکلات ناشی از تمرکز اطلاعات در واحدهای مختلف سازمان و وابستگی فرایندها به کنترل‌های انسانی باشد. در چنین شرایطی، قراردادهای هوشمند می‌توانند

1. Truffle
2. Ganache
3. Remix
4. Mainnet
5. Proxy Contract

با خودکارسازی فعالیت‌ها و ثبت شفاف اطلاعات، نقش مهمی در ارتقای کارایی زنجیره تأمین ایفا کنند (Lisitsa, Levina & Lepekhin, 2019: 61).

در روش سنتی، واحدهای عملیاتی نیازهای خود را به بخش تدارکات اعلام می‌کنند و پس از دریافت استعلام قیمت از تأمین‌کنندگان مختلف، فرایند ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده انجام می‌شود. سپس سفارش خرید صادر شده و پس از تحویل کالا و تأیید کیفیت، پرداخت توسط واحد مالی صورت می‌گیرد. اگرچه این شیوه سال‌ها در شرکت‌های نفتی مورد استفاده بوده است، اما به دلیل تعدد مراحل اداری، احتمال بروز تأخیر، افزایش هزینه‌های نظارتی و نبود دسترسی یکپارچه به اطلاعات، کارایی لازم را در شرایط کنونی ندارد. از دیدگاه نگارنده، مشکل اصلی این ساختار آن است که اطلاعات در بخش‌های مختلف پراکنده بوده و امکان نظارت هم‌زمان و مؤثر بر تمامی مراحل زنجیره تأمین محدود است.

برای رفع این مشکلات، می‌توان فرایند خرید تجهیزات را بر بستر قراردادهای هوشمند بازطراحی کرد. در این حالت، یک قرارداد هوشمند بر بستر بلاک‌چین کلیه مراحل خرید را مدیریت می‌کند. ثبت نیاز توسط واحدهای مختلف، دریافت پیشنهادها، قیمت، انتخاب تأمین‌کننده، صدور سفارش خرید، ثبت تحویل کالا و تأیید کیفیت، همگی در یک سامانه مشترک و شفاف انجام می‌شود. پس از تأیید واحد بازرسی، پرداخت نیز به صورت خودکار انجام خواهد شد. با این حال، به اعتقاد نگارنده، در صنعت نفت ایران انتخاب تأمین‌کننده نباید صرفاً بر اساس قیمت صورت گیرد؛ بلکه معیارهایی نظیر کیفیت تجهیزات، توان ساخت داخل، سوابق عملکردی و قابلیت انتقال فناوری نیز باید در منطق تصمیم‌گیری قرارداد هوشمند لحاظ شوند. در غیر این صورت، فناوری مزبور صرفاً به ابزاری برای کاهش هزینه تبدیل خواهد شد و نقش آن در توسعه صنعتی کشور کمرنگ می‌شود.

به کارگیری قراردادهای هوشمند مزایای متعددی به همراه دارد. نخست آنکه تمامی اطلاعات مربوط به فرایند خرید در بلاک‌چین ثبت می‌شود و امکان دسترسی هم‌زمان و شفاف برای ذی‌نفعان فراهم می‌گردد. دوم آنکه زمان اجرای فرایندها کاهش یافته و بسیاری از هزینه‌های ناشی از واسطه‌گری و تکرار فعالیت‌های اداری حذف می‌شود. همچنین ثبت غیرقابل تغییر اطلاعات، احتمال جعل اسناد و دستکاری

داده‌ها را کاهش می‌دهد و اعتماد میان طرفین را افزایش می‌بخشد. علاوه بر این، قابلیت ردیابی کالا در تمامی مراحل زنجیره تأمین می‌تواند نگرانی‌های مربوط به اصالت تجهیزات و کیفیت آنها را تا حد زیادی برطرف سازد (Kouhizadeh et al., 2021: 67).

با وجود این مزایا، استقرار قراردادهای هوشمند با موانعی نیز همراه است. طراحی و نگهداری این قراردادها نیازمند متخصصان آشنا با برنامه‌نویسی و فناوری بلاک‌چین است. از سوی دیگر ابهام‌های حقوقی موجود درباره جایگاه قراردادهای هوشمند و نحوه تعیین مسئولیت طرفین، از موانع توسعه این فناوری به شمار می‌رود. همچنین هرگونه آسیب‌پذیری در کد قرارداد می‌تواند زمینه حملات سایبری و خسارت‌های مالی را فراهم کند. افزون بر این، یکپارچه‌سازی قراردادهای هوشمند با سامانه‌های موجود شرکت‌های نفتی مستلزم صرف زمان و هزینه قابل توجهی است؛ بنابراین موفقیت این فناوری تنها به قابلیت‌های فنی آن وابسته نیست و نیازمند فراهم شدن زیرساخت‌های حقوقی، مدیریتی و سازمانی مناسب نیز خواهد بود.

۴. نقش استانداردها و تجربیات جهانی در توسعه قراردادهای هوشمند

صنعت نفت

توسعه و پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت، فرایندی پیچیده و حساس است که مستلزم بهره‌گیری از استانداردهای بین‌المللی و نیز استفاده از تجربیات کشورهای پیشرو در این عرصه می‌باشد. استانداردهای بین‌المللی در واقع مجموعه‌ای از اصول، قواعد و رویه‌های مورد پذیرش جهانی هستند که با هدف ایجاد هماهنگی میان کشورها، افزایش بهره‌وری و تسهیل تعاملات فرامرزی تدوین و تصویب می‌شوند. رعایت این استانداردها موجب می‌شود قراردادهای هوشمند در بسترها و پلتفرم‌های مورد استفاده سایر کشورها از قابلیت تعامل و انطباق بیشتری برخوردار شوند. به نظر می‌رسد این ویژگی برای صنعت نفت ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد؛ زیرا ماهیت بین‌المللی فعالیت‌های نفتی ایجاب می‌کند که سامانه‌های قراردادی کشور قابلیت ارتباط و همکاری با بازیگران خارجی را داشته باشند. در غیر این صورت، توسعه قراردادهای هوشمند ممکن است به ابزاری محدود در داخل

کشور تبدیل شود و کارکرد فرامرزی خود را از دست بدهد. از منظر امنیت سایبری نیز استانداردهای بین‌المللی ابزاری کارآمد برای ارتقای تاب‌آوری قراردادهای هوشمند محسوب می‌شوند (Sebastian-Cardenas et al., 2022: 3).

به‌کارگیری این استانداردها می‌تواند قراردادهای منعقدشده را در برابر تهدیدات سایبری و حملات احتمالی محافظت کند و ریسک‌های امنیتی را کاهش دهد. با توجه به حجم بالای مبادلات مالی و اطلاعاتی در صنعت نفت، هرگونه آسیب‌پذیری در قراردادهای هوشمند می‌تواند پیامدهای اقتصادی به همراه داشته باشد. از این‌رو، استانداردسازی را باید یکی از پیش‌شرط‌های اساسی استقرار موفق قراردادهای هوشمند در این صنعت دانست.

افزون بر این، رعایت استانداردها به اطمینان از عملکرد صحیح قراردادهای هوشمند کمک می‌کند و این اطمینان را به ذی‌نفعان می‌دهد که مفاد قرارداد به‌طور دقیق و مطابق با انتظارات طرفین اجرا خواهد شد. شفافیت در عملکرد قراردادهای هوشمند نیز یکی دیگر از مزایای مهم این رویکرد است که می‌تواند اعتماد ذی‌نفعان داخلی و خارجی را جلب کند. به اعتقاد نگارنده، اعتماد یکی از مهم‌ترین سرمایه‌های نهادی در توسعه فناوری‌های نوین قراردادی است و بدون شکل‌گیری این اعتماد، پذیرش گسترده قراردادهای هوشمند در صنعت نفت با دشواری مواجه خواهد شد.

همچنین استانداردهای بین‌المللی می‌توانند در ایجاد سازوکارهای حقوقی مؤثر برای حل و فصل اختلافات ناشی از اجرای قراردادهای هوشمند نقش مهمی ایفا کنند. در این راستا، مجموعه‌ای از استانداردهای بین‌المللی اهمیت ویژه دارند. از جمله می‌توان به استانداردهای سازمان بین‌المللی استانداردسازی اشاره کرد که طیف وسیعی از موضوعات از جمله مدیریت فناوری اطلاعات و امنیت سایبری را پوشش می‌دهد. مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک نیز استانداردهایی را برای طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های دیجیتال و شبکه‌های توزیع شده ارائه کرده است. اتحادیه بین‌المللی مخابرات بر تدوین استانداردهایی در حوزه مخابرات و انتقال داده تمرکز دارد (Atiyah, Ibrahim & Jasim, 2024: 12) که نقش مهمی در قابلیت تبادل پذیری

قراردادهای هوشمند ایفا می‌کند. کمیسیون حقوق تجارت بین‌الملل سازمان ملل متحد نیز با ارائه قواعد و چارچوب‌های حقوقی، زمینه را برای اعتباربخشی و پذیرش قراردادهای الکترونیکی و هوشمند در نظام‌های حقوقی مختلف فراهم می‌سازد. آنچه از بررسی این نهادها استنباط می‌شود آن است که توسعه قراردادهای هوشمند صرفاً یک مسئله فنی نیست، و به موازات زیرساخت‌های فناورانه، نیازمند پشتوانه‌های حقوقی نیز هست.

علاوه بر استانداردها، بررسی تجربیات کشورهای پیشرو و شرکت‌های بین‌المللی بزرگ در صنعت نفت می‌تواند منبعی ارزشمند برای ایران باشد. نروژ یکی از کشورهایی است که در استفاده از فناوری بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند پیشگام بوده است. شرکت انکویر (استات اویل سابق) (Gausdal, Czachorows-ki & Solesvik, 2018: 134) پروژه‌های متعددی را برای بهره‌برداری از بلاک‌چین در مدیریت زنجیره تأمین، ردیابی نفت و گاز و اجرای پرداخت‌های خودکار به انجام رسانده است. این پروژه‌ها نشان داده‌اند که استفاده از فناوری‌های نوین می‌تواند هزینه‌های عملیاتی را کاهش داده و شفافیت بیشتری در فرایندهای تجاری ایجاد کند. از تجربه نروژ می‌توان دریافت که موفقیت قراردادهای هوشمند تنها به در اختیار داشتن فناوری وابسته نیست، و وجود ساختارهای مدیریتی منسجم و زیرساخت‌های اطلاعاتی کارآمد نیز در تحقق مزایای آن نقش تعیین‌کننده دارد.

در سطح بین‌المللی، شرکت‌های بزرگ نفتی همچون بی‌پی و شل نیز به طور فعال در حال سرمایه‌گذاری و تحقیق در زمینه کاربردهای قراردادهای هوشمند هستند. شرکت بی‌پی پروژه‌هایی را در زمینه مدیریت زنجیره تأمین و بهبود فرایندهای تجارت انرژی با اتکا به فناوری بلاک‌چین پیش برده است. شرکت شل نیز به طور مشابه در حوزه ردیابی نفت و گاز و مدیریت زنجیره تأمین پروژه‌هایی را اجرا کرده است (Rauchs et al., 2019: 23) که به افزایش شفافیت و کاهش هزینه‌ها منجر شده است. بررسی این تجربیات نشان می‌دهد که مهم‌ترین کارکرد قراردادهای هوشمند در صنعت نفت، کاهش هزینه‌های مبادله، افزایش قابلیت رهگیری اطلاعات و محدود کردن خطاهای انسانی است. از این منظر، بهره‌گیری از این تجارب می‌تواند برای صنعت نفت ایران در جهت ارتقای شفافیت و بهبود کارایی فرایندهای عملیاتی

سودمند باشد، هرچند موفقیت آن مستلزم انطباق این الگوها با شرایط حقوقی، اقتصادی و مدیریتی کشور خواهد بود.

۴-۱. نروژ

نروژ به‌عنوان یکی از پیشگامان استفاده از فناوری بلاک‌چین در بخش انرژی، رویکردی نهادی تدریجی را در پیش گرفته است. شرکت اِکینور^۱ از سال ۲۰۱۸ پروژه‌هایی در زمینه استفاده از قراردادهای هوشمند برای مدیریت زنجیره تأمین، ردیابی محموله‌های نفتی، و تسویه خودکار پرداخت‌ها اجرا کرده است (Gausdal, Czachorowski & Solesvik, 2018: 134). موفقیت این پروژه‌ها تا حد زیادی ناشی از چارچوب حقوقی روشن در حوزه امضای دیجیتال و شناسایی اسناد الکترونیکی است که بر اساس مقرره اتحادیه اروپا درباره شناسایی الکترونیکی، احراز هویت و خدمات اعتماد در تراکنش‌های الکترونیکی^۲ در نظام حقوقی نروژ پیاده‌سازی شده است.

ویژگی بارز مدل نروژ، یکپارچگی نهادی میان رگولاتورهای انرژی، نهادهای حقوقی و بخش خصوصی است. دولت از طریق سازمان امنیت نفت نروژ^۳ و آژانس تحول دیجیتال^۴، مقررات فنی و حقوقی را به‌طور منسجم تدوین کرده است. در نتیجه اعتماد نهادی بالا، شفافیت اطلاعاتی و استانداردسازی قراردادها، ریسک‌های اجرایی را به حداقل رسانده است. در سطح فنی نیز، نروژ از بسترهای کنسرسیومی خصوصی با مشارکت چند شرکت بزرگ استفاده کرده است تا امنیت داده‌ها و حریم تجاری حفظ شود. تجربه نروژ نشان می‌دهد که ترکیب «قانون‌گذاری منعطف» با «نهادهای پاسخ‌گو» زمینه‌ساز پذیرش سریع فناوری‌های نوین در بخش نفت شده است.

۴-۲. امارات متحده عربی

امارات متحده عربی نیز از پیشروترین کشورها در به‌کارگیری بلاک‌چین در صنعت نفت است. شرکت ملی نفت ابوظبی^۵ از سال ۲۰۱۹ پروژه‌هایی را

1. Equinor

2. electronic IDentification, Authentication and trust Services (Eidas)

3. Petroleum Safety Authority Norway (PSA)

4. Digital Transformation Agency

5. Abu Dhabi National Oil Company

برای مدیریت لحظه‌ای تولید و صادرات نفت، رهگیری تراکنش‌ها و خودکارسازی پرداخت‌ها اجرا کرده است (Petratos, Ljepava & Salman, 2020: 91). چارچوب حقوقی این کشور مبتنی بر «سند راهبردی بلاک‌چین ۲۰۲۱»^۱ است که توسط دولت فدرال تدوین شد و هدف آن دیجیتالی‌سازی پنجاه درصد از تعاملات بین سازمانی از طریق قراردادهای هوشمند بود. در این مدل دولت نقش حاکمیت متمرکز دیجیتال را ایفا می‌کند و تمامی پروژه‌ها زیر «اداره هوش مصنوعی و اقتصاد دیجیتال» هماهنگ می‌شوند. مزیت این رویکرد، سرعت تصمیم‌گیری، هماهنگی بین‌سازمانی و تمرکز بر جذب سرمایه خارجی است؛ با این حال، تمرکزگرایی در ساختار حقوقی امارات باعث شده است که نقش نظارتی بخش خصوصی و جامعه مدنی نسبتاً محدود بماند.

امارات متحده عربی با تدوین قوانین مشخص درباره اعتبار امضای دیجیتال، مالکیت داده و امنیت سایبری توانسته است ریسک‌های حقوقی ناشی از اجرای قراردادهای هوشمند را تا حد زیادی کنترل کرده و اعتماد سرمایه‌گذاران بین‌المللی را افزایش دهد. افزون بر این، همکاری نزدیک شرکت ملی نفت ابوظبی با شرکت بین‌المللی ماشین‌های تجاری^۲ و شرکت کانسن‌سیس^۳ موجب شده است بستر فنی لازم برای به‌کارگیری قراردادهای هوشمند در زنجیره تأمین انرژی به‌صورت عملیاتی پیاده‌سازی شود.

با توجه به این تجربیات، برای صنعت نفت ایران ضروری است که رویکردی آینده‌نگر اتخاذ شود. پیشنهاد می‌شود شرکت‌های نفتی کشور پیش از هر چیز استانداردهای بین‌المللی مرتبط با قراردادهای هوشمند را به‌دقت بررسی و ارزیابی کنند. سپس باید با تحلیل و مقایسه تجربیات کشورهای پیشرو و شرکت‌های مطرح جهانی، بهترین شیوه‌های اجرایی را بومی‌سازی کنند. همکاری نزدیک با سازمان‌های بین‌المللی استانداردسازی و نهادهای تخصصی حوزه فناوری‌های نوین، امکان انتقال دانش و بهره‌گیری از تخصص جهانی را فراهم خواهد کرد. افزون بر این، حضور در پروژه‌های بین‌المللی مرتبط با توسعه قراردادهای هوشمند، فرصتی ارزشمند برای

1. Blockchain Strategy Document (2021)

2. IBM: International Business Machines Corporation

3. ConsenSys: ConsenSys Software Inc.

ارتقای دانش و تجربه داخلی ایجاد می‌کند. ایجاد شبکه‌های همکاری و شراکت با شرکت‌ها و سازمان‌های خارجی فعال در این حوزه می‌تواند به تبادل مستمر دانش و تجربه کمک کند و زمینه توسعه پایدار قراردادهای هوشمند در صنعت نفت ایران را فراهم سازد.

۵. موانع و راهکارهای حقوقی و فنی پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در

صنعت نفت

پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت، هرچند مزایای چشم‌گیری مانند افزایش شفافیت، کاهش هزینه‌های مبادله و تسریع فرایندها را به همراه دارد، اما با مجموعه‌ای از موانع حقوقی روبه‌رو است که رفع آن‌ها مستلزم سیاست‌گذاری دقیق، نهادسازی کارآمد و طراحی چارچوب‌های حقوقی مناسب است. در این میان، ماهیت چندبُعدی صنعت نفت، ویژگی‌های فناورانه‌ی بلاک‌چین و ساختار سنتی حاکم بر بخش انرژی، موانعی را در مسیر اجرای این فناوری پدید آورده‌اند.

۵-۱. موانع حقوقی

از منظر حقوقی، یکی از اصلی‌ترین موانع، فقدان قوانین و مقررات صریح و جامع در زمینه قراردادهای هوشمند است. نبود چنین مقرراتی، ابهاماتی در خصوص اعتبار حقوقی این قراردادها، نحوه اثبات تعهدات، حدود مسئولیت طرفین و شیوه‌های حل اختلاف ایجاد کرده است (صادقی و ناصر، ۱۳۹۹: ۲۰۰). به همین دلیل، تدوین قوانین جامع و منطبق بر ویژگی‌های خاص این نوع قراردادها، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. این قوانین باید به‌طور دقیق به مسائلی همچون اعتبار امضای دیجیتال، ارزش اثباتی داده‌های الکترونیکی، حدود مسئولیت برنامه‌نویسان، طرفین و پلتفرم میزبان و همچنین نحوه جبران خسارات احتمالی بپردازند. در این زمینه بازنگری در قوانین موجود نظیر «قانون تجارت الکترونیکی» و «قانون آیین دادرسی مدنی» می‌تواند زمینه تعامل بیشتر نظام حقوقی با ماهیت قراردادهای هوشمند را فراهم سازد.

مسئله تعیین مسئولیت در صورت بروز خطا یا نقص در اجرای قرارداد هوشمند، یکی از مباحث پیچیده حقوق فناوری است. در این خصوص، باید مشخص

شود که در صورت بروز خطا، مسئولیت متوجه چه نهادی است: برنامه‌نویس قرارداد، طرفین قرارداد یا پلتفرم میزبان (ایزانلو و اسدی، ۱۳۹۸: ۴۱۵). تدوین سازکارهای روشن برای تعیین مسئولیت و پیش‌بینی نظام جبران خسارت می‌تواند از بروز اختلافات میان ذی‌نفعان جلوگیری کند. افزون بر این، روش‌های سستی حل اختلاف مانند طرح دعوا در دادگاه‌های عمومی با توجه به پیچیدگی‌های فنی و ماهیت دیجیتال قراردادهای هوشمند، کارایی لازم را ندارند (شیروی و محمدی، ۱۳۸۸: ۳۰). در این راستا، توسعه‌ی سازکارهای نوین نظیر داوری آنلاین، میانجی‌گری مبتنی بر الگوریتم‌های هوشمند و ایجاد دادگاه‌های تخصصی فناوری می‌تواند به کارآمدی نظام حل اختلاف در این حوزه کمک کند.

۲-۵. چالش‌های امنیت داده و حریم خصوصی

از منظر داده و حریم خصوصی، قراردادهای هوشمند مستلزم پردازش حجم بالایی از اطلاعات حساس هستند که رعایت اصول امنیتی در مورد آن‌ها ضرورت دارد. در این زمینه، به‌کارگیری روش‌های رمزنگاری چندلایه، ذخیره‌سازی توزیع‌شده و کنترل دسترسی مبتنی بر نقش^۱ می‌تواند از افشای داده‌ها جلوگیری کرده و اعتماد کاربران را افزایش دهد. با توجه به ماهیت عمومی برخی شبکه‌های بلاک‌چین، هرگونه نقص در طراحی می‌تواند منجر به افشای اطلاعات تجاری، مالی و فنی گردد؛ بنابراین استفاده از فناوری‌های رمزنگاری پیشرفته و پروتکل‌های حفظ حریم خصوصی مانند اثبات‌های بدون افشا^۲ و محاسبات چندطرفه امن^۳ ضروری است (پاکروان‌فر و عایضی، ۱۴۰۱: ۱۴۲). همچنین تهدیدهای امنیت سایبری از جدی‌ترین معضلات فنی قراردادهای هوشمند محسوب می‌شود. حملات هکری، تزریق کدهای مخرب و آسیب‌پذیری‌های منطقی در کد قرارداد می‌تواند موجب از دست رفتن منابع مالی و بی‌اعتباری کل شبکه شود. برای مقابله با این تهدیدها، باید از سازکارهایی مانند ممیزی امنیتی، تست نفوذ، تحلیل ایستا^۴ و تأیید رسمی کد^۵ استفاده شود. به‌کارگیری

-
1. Role-Based Access Control
 2. Zero-Knowledge Proofs
 3. Secure Multi-Party Computation
 4. Static Analysis
 5. Formal Verification

این روش‌ها پیش از استقرار قرارداد، احتمال بروز خطا و حمله را به حداقل می‌رساند (Andoni et al., 2019: 156).

۳-۵. مانع مقیاس‌پذیری و کارایی شبکه

مهم‌ترین مانع فنی در مسیر پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت، مسأله مقیاس‌پذیری^۱ است. شبکه‌های بلاک‌چین عمومی نظیر اتریوم، توان محدودی در پردازش تراکنش‌ها دارند و نمی‌توانند بار عملیاتی مورد نیاز در صنعت نفت را پشتیبانی کنند. در این شبکه‌ها هر تراکنش باید به‌صورت هم‌زمان توسط تمام گره‌ها تأیید شود که این امر باعث افزایش تأخیر و هزینه تراکنش می‌گردد. این محدودیت‌ها در محیط‌هایی که نیازمند ثبت هزاران تراکنش هم‌زمان در زنجیره تأمین هستند، مانع جدی محسوب می‌شود (Narayanan et al., 2016: 89). برای رفع این مشکل، بهره‌گیری از فناوری‌های مقیاس‌پذیری نوین نظیر کانال‌های پرداخت^۲، زنجیره‌های جانبی^۳، رول‌آپ‌ها^۴ و شاردینگ^۵ پیشنهاد می‌شود. کانال‌های پرداخت امکان انجام تراکنش‌های متعدد میان طرفین بدون ثبت هر بار در زنجیره اصلی را فراهم می‌کند. زنجیره‌های جانبی نیز اجازه می‌دهد تا بخشی از فرایندها در شبکه‌ای موازی با بلاک‌چین اصلی اجرا شده و نتایج نهایی در شبکه اصلی ذخیره شود. در مقابل، روش شاردینگ با تقسیم شبکه به بخش‌های موازی، توان عملیاتی شبکه را به‌صورت چشم‌گیری افزایش می‌دهد (Andoni et al., 2019: 157). این رویکردها به‌ویژه در محیط‌های صنعتی که تراکنش‌های پرحجم و لحظه‌ای دارند، کارآمدتر از شبکه‌های عمومی کلاسیک عمل می‌کنند.

۴-۵. سازگاری سامانه‌ای و تبادل‌پذیری داده‌ها

در صنعت نفت، سامانه‌های موجود نظیر برنامه‌ریزی منابع سازمانی^۶، سامانه کنترل و گردآوری داده^۷ و سامانه کنترل توزیع شده^۸ به‌صورت گسترده برای مدیریت

1. Scalability

2. Payment Channels

3. Side Chains

4. Rollups

5. Sharding

6. Enterprise Resource Planning - ERP

7. Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA

8. Application Programming Interface - API

عملیات به کار می‌روند؛ از این رو سازگاری سامانه‌ای^۱ میان قراردادهای هوشمند و این سامانه‌ها حیاتی است. فقدان استانداردهای مشترک داده و ناسازگاری پروتکل‌ها موجب می‌شود اطلاعات به‌طور مؤثر میان شبکه‌های بلاک‌چین و زیرساخت‌های صنعتی منتقل نشود. راهکار فنی این معضل، توسعه لایه‌های میانی یکپارچه‌سازی است که با استفاده از رابط‌های برنامه‌نویسی کاربردی^۲ استاندارد، تبادل داده را میان سیستم‌های سنتی و قراردادهای هوشمند تسهیل می‌کند. همچنین، استفاده از اورکل‌های قابل اعتماد^۳ برای تأیید داده‌های دنیای واقعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Andoni et al., 2019: 158)؛ زیرا هرگونه داده نادرست ورودی به قرارداد هوشمند می‌تواند کل فرایند را مختل کند. طراحی اورکل‌های چندمنبعی و مبتنی بر امضای آستانه‌ای^۴ می‌تواند احتمال خطا را کاهش دهد و دقت داده‌های ورودی را تضمین کند.

۵-۵. پیچیدگی توسعه، هزینه و خطاهای انسانی

توسعه و نگهداری قراردادهای هوشمند نیازمند دانش تخصصی در حوزه‌های مهندسی نرم‌افزار، رمزنگاری و حقوق دیجیتال است. زبان‌های برنامه‌نویسی اختصاصی مانند سالیدیتی^۵ و وایپر^۶، اگرچه قابلیت بالایی دارند، اما در صورت کدنویسی نادرست، می‌توانند منجر به آسیب‌های جبران‌ناپذیر شوند. برای مقابله با این ریسک، باید از روش‌های توسعه ایمن نرم‌افزار^۷ کنترل نسخه^۸ و بازبینی گروهی کد^۹ استفاده شود. انجام تست‌های چندمرحله‌ای، آزمون‌های فشاری و تحلیل رسمی کد می‌تواند کیفیت و پایداری قراردادها را افزایش دهد (Andoni et al., 2019: 156). افزون بر این، هزینه بالای توسعه و نگهداری یکی دیگر از موانع عملیاتی است. استفاده از چارچوب‌های متن‌باز، ابزارهای تست

1. Interoperability
2. Application Programming Interface - API
3. Trusted Oracles
4. Threshold Signature
5. Solidity
6. Vyper
7. Secure (SDLC)
8. Version Control
9. Code Review

خودکار و الگوهای طراحی استاندارد، ضمن کاهش هزینه، سازگاری میان سیستم‌ها را نیز تقویت می‌کند^۱ با این حال، هرگونه کوتاهی در تست و نظارت می‌تواند منجر به خطاهای انسانی شود که در محیط‌های حساس مالی و صنعتی، خسارات سنگینی به همراه خواهد داشت (Andoni et al., 2019: 157).

به‌طور کلی موانع فنی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت را می‌توان در سه سطح اصلی خلاصه کرد: زیرساختی (مقیاس‌پذیری و کارایی)، امنیتی (حریم خصوصی و پایداری شبکه) و یکپارچگی (سازگاری با سامانه‌های موجود). رفع این موانع مستلزم اتخاذ رویکردی میان‌رشته‌ای است که در آن همکاری مستمر میان مهندسان بلاک‌چین، متخصصان امنیت سایبری، مدیران صنعت نفت و قانون‌گذاران برقرار شود. تنها از طریق چنین هم‌افزایی می‌توان اطمینان یافت که قراردادهای هوشمند از نظر فنی پایدار و مقیاس‌پذیر هستند، و از لحاظ حقوقی نیز در چارچوبی شفاف و قابل اعتماد به اجرا درمی‌آیند (Narayanan et al., 2016: 90; Andoni et al., 2019: 156-158; پاکروان‌فر و عایضی، ۱۴۰۱: ۱۴۲).

۶. تحلیل اقتصادی پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در صنعت

نفت

مکتب اقتصاد نهادی به‌ویژه در رویکرد نهادگرایی جدید که توسط داگلاس نورث^۱ توسعه یافته است، بر این مبنا استوار است که نهادها، اعم از قواعد رسمی و غیررسمی حاکم بر تعاملات انسانی، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد اقتصادی ایفا می‌کنند. بر این اساس، صرف ورود فناوری‌های نوین بدون ایجاد تغییر در نهادهای حقوقی، اجرایی و رفتاری، الزاماً به بهبود عملکرد اقتصادی منجر نخواهد شد (Ménard & Shirley, 2014: 24). در حوزه قراردادهای هوشمند، این مکتب هشدار می‌دهد که اگر نظام حقوقی و اجرایی کشور توانایی پذیرش و انطباق با ماهیت دیجیتال و خودکار این قراردادها را نداشته باشد، حتی پیشرفته‌ترین فناوری‌ها نیز در عمل کارآمدی لازم را نخواهند داشت. از این رو طراحی، پیاده‌سازی و اجرای موفق قراردادهای هوشمند در صنعت نفت باید به موازات اصلاحات نهادی و سازگاری قوانین و رویه‌های اجرایی صورت پذیرد تا کارایی اقتصادی مورد انتظار

1. Douglass Cecil North

تحقق یابد.

در ساختار فعلی صنعت نفت، بخش قابل توجهی از ناکارآمدی‌ها ناشی از فرایندهای اداری پرهزینه، تعدد واسطه‌ها و تأخیرهای مکرر در تسویه حساب‌ها است (شکوهی، ۲۰۱۴: ۱۳۹). قراردادهای هوشمند می‌توانند با حذف نقش واسطه‌ها در بسیاری از مراحل اجرایی، فرایندهایی همچون عقد قرارداد، تأمین مالی، ارسال سفارش، پرداخت و نظارت بر اجرای پروژه را به صورت هم‌زمان تسریع و ایمن سازند. تحلیل هزینه‌فایده نشان می‌دهد که صرفه‌جویی ناشی از کاهش هزینه‌های تراکنشی می‌تواند در سطح ملی معادل ده‌ها میلیون دلار باشد. افزون بر این، کاهش خطاهای انسانی، بهینه‌سازی تخصیص منابع و ارتقای قابلیت ردیابی تراکنش‌ها، موجب کاهش ریسک و افزایش اعتماد طرف‌های تجاری خواهد شد. از نقاط ضعف تاریخی صنعت نفت ایران، فقدان شفافیت در قراردادها، مناقصات و تخصیص منابع بوده است (حیدری و منتی و شهبازی، ۱۴۰۴: ۵۲). قراردادهای هوشمند، با ثبت تراکنش‌ها بر بستر توزیع‌شده و غیر قابل تغییر، زیرساختی برای حسابرسی سریع فراهم می‌کنند. این قابلیت نظارت درون‌سازمانی را تسهیل و با کاهش فرصت‌های سوءاستفاده، به کاهش فساد کمک می‌کند. البته باید توجه داشت که شفافیت یک ویژگی فنی و فرایندی اجتماعی‌سیاسی است؛ بنابراین قراردادهای هوشمند می‌توانند به عنوان ابزار توانمندسازی برای اصلاحات ساختاری عمل کنند، اما به تنهایی کافی نیستند.

یکی از ضرورت‌های اساسی صنعت نفت ایران، جذب سرمایه‌گذاری خارجی و ارتقای سطح فناوری است. در محیط‌های پرریسک و دارای نرخ فساد بالا، قراردادهای هوشمند می‌توانند به عنوان سازکاری برای کاهش ریسک سرمایه‌گذاران عمل کنند. این قراردادها با تضمین اجرای دقیق تعهدات از طریق الگوریتم‌های غیر قابل دستکاری، احتمال نقض قرارداد را کاهش داده و سطح اعتماد سرمایه‌گذاران خارجی را افزایش می‌دهند. در نتیجه می‌توان از قراردادهای هوشمند به عنوان ابزاری برای سیاست صنعتی در راستای مدرن‌سازی فضای کسب و کار و بازتعریف روابط شرکت‌های نفتی با شرکای بین‌المللی استفاده کرد. پیوند صنعت نفت با قراردادهای هوشمند، افزون بر به کارگیری یک ابزار فناورانه، به معنای شکل‌گیری نیاز به مهارت‌های جدید

و ظهور بازارهای دیجیتال می‌باشد. از این منظر، قراردادهای هوشمند به‌عنوان موتور محرک تحول دیجیتال در صنعت نفت، می‌توانند رشد اقتصادی را در بخش‌های مرتبطی همچون فناوری اطلاعات، امنیت سایبری، داده‌کاوی و تحلیل بلاک‌چین به همراه داشته باشند.

فناوری‌هایی که قابلیت ارتقای شفافیت و پاسخ‌گویی دارند می‌توانند به مرور موجب تقویت سرمایه اجتماعی شوند. قراردادهای هوشمند، با حذف مداخلات غیر ضروری انسانی، کاهش امکان فساد و ارائه مستندات دقیق از تراکنش‌ها، بستری برای افزایش اعتماد عمومی به فرایندهای اقتصادی ایجاد می‌کنند. رشد قراردادهای هوشمند همچنین زمینه‌ساز شکل‌گیری تقاضا برای مهارت‌های جدید در حوزه‌هایی نظیر برنامه‌نویسی بلاک‌چین، تحلیل داده‌های تراکنشی، امنیت سایبری قراردادهای هوشمند خواهد بود. چنین تحولاتی می‌توانند نیروی کار جوان و تحصیل‌کرده کشور را که با نرخ بالای بیکاری مواجه است، به سمت صنایع دانش‌بنیان هدایت کنند. تحقق این فرصت‌ها، منوط به اصلاح سیاست‌های آموزشی و تربیت نیروهای انسانی متناسب با نیازهای بازار کار آینده است. نابرابری در دسترسی به اطلاعات و فرصت‌های اقتصادی از عوامل مهم بی‌عدالتی تلقی می‌شود. قراردادهای هوشمند با شفاف‌سازی اطلاعات و اجرای بی‌طرفانه تعهدات می‌توانند مانع شکل‌گیری رانت شوند. بدین ترتیب، بستری عادلانه‌تر شکل می‌گیرد که به بهبود عدالت توزیعی یاری می‌رساند. با وجود ظرفیت‌های یادشده، یکی از مهم‌ترین موانع پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در ایران، فقدان چارچوب قانونی مشخص برای اعتباربخشی به آن‌هاست. تاکنون تعاریف حقوقی روشنی از ماهیت این قراردادها، نحوه استناد به آن‌ها در محاکم، حدود مسئولیت‌پذیری در صورت بروز خطا یا نقص فنی و نیز سازکارهای حل اختلاف ارائه نشده است. (صادقی و ناصر، ۱۳۹۹: ۲۰۰) علاوه بر این، نظام قضایی فعلی در ایران آمادگی لازم برای تفسیر کدهای قراردادی یا رسیدگی به دعاوی پیچیده فنی در این حوزه را ندارد. هرچند قراردادهای هوشمند مبتنی بر بلاک‌چین از سطح امنیت بالایی برخوردارند، اما خطاهای برنامه‌نویسی، آسیب‌پذیری‌های سیستمی و حملات هدفمند می‌توانند به نقاط ضعف آن‌ها تبدیل شوند. نمونه‌های بین‌المللی حملات به قراردادهای معیوب نشان می‌دهد که این

خطر واقعی است. بنابراین، پیش از استقرار گسترده، باید زیرساخت‌های امنیت سایبری تقویت شده و سازکارهای ممیزی فنی مستقل برای اعتبارسنجی قراردادها تعریف گردد (Atzei et al., 2017: 173). از منظر زیرساختی نیز، توسعه نامتوازن فناوری‌های دیجیتال در مناطق مختلف کشور می‌تواند به شکاف دیجیتال دامن بزند؛ به‌ویژه جوامع محلی مستقر در نزدیکی منابع نفتی ممکن است از مزایای این تحولات فناورانه بی‌بهره بمانند. در نتیجه، اجرای سیاست‌های مکمل برای توسعه زیرساخت‌های دیجیتال و ارائه آموزش در مناطق کمتر توسعه‌یافته ضروری است. در مجموع پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت ایران پتانسیل آن را دارد که نقطه آغاز، ارتقای بهره‌وری و بازتعریف تعاملات اقتصادی و اجتماعی باشد. با این حال، تحقق این اهداف نیازمند یک بسته سیاستی جامع و هماهنگ است که ابعاد فناورانه، حقوقی، و آموزشی را به‌طور هم‌زمان پوشش دهد.

برآمد

۱- پژوهش حاضر با هدف تبیین چارچوب‌های حقوقی و اقتصادی لازم برای پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت ایران و بهره‌گیری از تجارب کشورهای پیشرو انجام شد. نتایج نشان داد که قراردادهای هوشمند، به‌عنوان دستاوردی کلیدی از فناوری بلاک‌چین، ظرفیت تحول در ساختارهای حقوقی و اقتصادی صنعت نفت را دارند. ویژگی‌هایی مانند خوداجرا بودن، شفافیت، تغییرناپذیری و حذف واسطه‌ها موجب کاهش فساد، تسریع در پرداخت‌ها، ارتقای کارآمدی و افزایش اعتماد نهادی می‌شوند. همچنین، این فناوری می‌تواند با کاهش هزینه‌های مبادله و افزایش قابلیت نظارت، زمینه جذب سرمایه‌گذاری خارجی و بهبود شفافیت مالی را فراهم کند.

۲- تحلیل تطبیقی نشان داد که موفقیت کشورهای چونی و امارات متحده عربی در اجرای قراردادهای هوشمند، ناشی از سه عامل اصلی است: نخست، چارچوب حقوقی شفاف و به‌روز برای اعتباربخشی به امضای دیجیتال و اجرای خودکار تعهدات؛ دوم، نهادهای هماهنگ‌کننده و پاسخ‌گو میان بخش‌های فنی، حقوقی و اجرایی؛ و سوم، استانداردهای فنی و امنیتی منسجم برای حفاظت از داده‌ها و پیشگیری از خطا و تقلب.

۳- در ایران مهم‌ترین موانع شامل فقدان قانون جامع قراردادهای دیجیتال، ناهماهنگی نهادی، ضعف در آموزش تخصصی و مقاومت ساختارهای سنتی اداری است. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود تدوین «قانون جامع قراردادهای هوشمند»، ایجاد نهادی ملی برای هماهنگی میان وزارت نفت، وزارت ارتباطات و قوه قضاییه و توسعه آموزش‌های بین‌رشته‌ای در حوزه حقوق و فناوری اطلاعات در اولویت سیاست‌گذاری قرار گیرد. این پژوهش با محدودیت‌هایی همچون دسترسی محدود به داده‌های داخلی و کمبود مطالعات موردی در ایران روبه‌رو بود؛ از این رو بخشی از تحلیل‌ها بر اساس داده‌های تطبیقی و بین‌المللی صورت گرفته است. برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود مطالعات میدانی در پروژه‌های نفتی، ارزیابی حقوقی اقتصادی اجرای قراردادهای هوشمند و تحلیل تطبیقی بیشتری در نظام‌های حقوقی پیشرو انجام گیرد.

فهرست منابع

الف. فارسی

- * اسمعیلی پائین افراکتی، محمدحسن و یونسی، کیارش (۱۴۰۴)، «چالش‌های هوشمندسازی قراردادهای جدید بالادستی نفتی ایران موسوم به آی. پی. سی در بستر فناوری بلاکچین و راهکارهای آن از منظر عنصر حقوقی در مدل جامع تفصل»، در: چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی و ملی مطالعات مدیریت، حسابداری و حقوق.
- * ایزانلو، محسن و اسدی، زهرا (۱۳۹۸)، «مطالعه تطبیقی کارکردهای دوگانه اصل احتیاط در مسئولیت مدنی»، مطالعات حقوق تطبیقی، دوره ۱۰، شماره ۲.
- * پاکروان‌فر، سید سجاد و غایضی، محمدرضا (۱۴۰۱)، «شناسایی و تعیین اهمیت ابعاد مدل آسیب‌شناسی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت و گاز»، پژوهش‌های مدیریت نظام‌های تأمین انرژی، دوره ۹، شماره ۲.
- * حیدری، حسین و متی، حسین و شهبازی، زهره (۱۴۰۴)، «بازشناسی موانع شفافیت سازمانی و چرخه بازتولید عدم شفافیت با رویکرد فراترکیب»، مجله علمی مدیریت فرهنگ سازمانی. پیش‌انتشار آنلاین.
- * شکوهی، محمدرضا (۲۰۱۴)، «هزینه‌های مبادلاتی سازماندهی در شرکت ملی نفت ایران»، پژوهش‌نامه اقتصاد انرژی ایران، دوره ۴، شماره ۱۳.
- * شکوهی، محمدرضا و پاکدامن حقیقی، رضا (۱۳۹۴)، پیشگفتاری بر آسیب‌شناسی صنعت نفت ایران (گزارش‌های کارشناسی شماره مسلسل ۱۴۵۹۲، کد موضوعی ۳۱۰)، تهران: مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی، دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن.
- * شیروی، عبدالحسین و محمدی، مرتضی (۱۳۸۸)، «تشکیل قراردادها از طریق نمایندگی سامانه هوشمند»، دوفصل‌نامه علمی حقوق تطبیقی، شماره ۱۶.
- * صادقی، محمدرضا و دهقانی فیروزآبادی، علی‌اکبر و آجیلی، هادی (۲۰۱۸)، «بایسته‌های دیپلماسی انرژی ایران در نظام اقتصاد سیاسی بین‌الملل»، فصل‌نامه مطالعات روابط بین‌الملل، دوره ۱۱، شماره ۴۳.
- * صادقی، محسن و ناصر، مهدی (۱۳۹۹)، «خطرات حقوقی امضای الکترونیکی

و الزامات قانونی پیشگیری از آنها: مطالعه تطبیقی در حقوق ایران و آمریکا»، پژوهش‌نامه بازرگانی، دوره ۲۴، شماره ۹۶. ۲۴ (۹۶).

* عقیلی مقدم، محمدرضا و عباسی، مهدی و نصایبان، شهریار و دامن‌کشیده، زهرا (۲۰۲۰)، «تأثیرپذیری قیمت‌های منطقه‌ای گاز از قیمت‌های نفت خام در بازار جهانی (رهیافت تصحیح خطای برداری)»، مدل‌سازی اقتصادی، دوره ۱۴، شماره ۴۹.

* قماش‌سی، سعید و صدراللهی، محمدرضا (۱۴۰۵)، «فناوری‌های نوین حقوقی و کنترل سیاست جنایی قضایی ایران»، مجله حقوقی دادگستری، انتشار آنلاین.
* محمدی، رضا (۱۴۰۲)، «بررسی حقوقی قراردادهای هوشمند در حوزه نفت و گاز و پتروشیمی»، پژوهش ملل، شماره ۸۷.

* مقدم، محمدجواد و حسینی، سید ابراهیم (۱۴۰۴)، «هوشمندسازی فرآیندهای قضایی و عدالت کیفری: راهبردها و موانع»، مجله حقوقی دادگستری، دوره ۱۸۹، شماره ۱۳۱.

* موالی، سید رائد و طالقانی، سیده آتنا (۲۰۲۵)، «ارزیابی سیستمی اثربخشی قوانین زیست‌محیطی صنعت نفت و گاز ایران با استفاده از مدل علی و ارائه راهکارهای اصلاحی»، فصل‌نامه علمی مدیریت محیط زیست شهری، دوره ۳، شماره ۱.

* مهری بابادی، حسین و ایران‌زاده، مهدی و سلیمان، احمد و فتحی هفشجانی، علیرضا و کیامرث، سعید (۲۰۲۲)، «ارائه مدلی برای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین لارج در صنایع نفت و گاز (مورد مطالعه: شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب)»، فصل‌نامه انجمن علوم مدیریت ایران، دوره ۱۷، شماره ۶۵.

* نصیری، زهرا و ریاضی، حمید و لادن، محمد و امین‌موسوی، سید عبدالله و سلیمان، احمد (۲۰۲۵)، «شناسایی و تعیین اهمیت ابعاد مدل آسیب‌شناسی قراردادهای هوشمند در صنعت نفت و گاز»، آمایش محیط، دوره ۱۸، شماره ۶۸.

ب. انگلیسی

* Ajuwon, A., Adewuyi, A., Nwangele, C. R., & Akintobi, A. O. (2021). Blockchain technology and its role in transforming financial ser-

vices: The future of smart contracts in lending. International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation, 2(2).

* Al-Saqaf, W., & Seidler, N. (2017). **Blockchain technology for social impact: opportunities and challenges ahead.** Journal of Cyber Policy. DOI: 10.1080/23738871.2017.1400084

* Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., McCallum, P., & Peacock, A. (2019). **Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 100.

* Atiyah, G. A., Ibrahim, A. I., & Jasim, A. A. (2024). **Enforcement of smart contracts in cross-jurisdictional transactions.** International Journal of Law and Management.

* Atzei, N., Bartoletti, M., & Cimoli, T. (2017). **A Survey of Attacks on Ethereum Smart Contracts.** In Proceedings of the 6th International Conference on Principles of Security and Trust . Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54455-6_8

* Casino, F. et al. (2019). **A Systematic Literature Review of Blockchain-Based Applications: Current Status, Classification and Open Issues.** Telematics and Informatics, 36, <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>

* Chen, G., Xu, B., Lu, M., & Chen, N. S. (2018). **Exploring blockchain technology and its potential applications for education.** Smart Learning Environments, 5(1).

* Gatteschi, V., Lamberti, F., Demartini, C., Pranteda, C., & Santamaría, V. (2018). **Blockchain and smart contracts for insurance: Is the technology mature enough?** Future internet, 10(2), 20.

* Gausdal, A. H., Czachorowski, K. V., & Solesvik, M. Z. (2018). **Applying blockchain technology: Evidence from Norwegian com-**

panies. Sustainability, 10(6), 1985.

* Ivanov, N., Li, C., Yan, Q., Sun, Z., Cao, Z., & Luo, X. (2023). **Security threat mitigation for smart contracts: A comprehensive survey**. ACM Computing Surveys, 55(14s).

* Kouhizadeh, M., Saberi, S., & Sarkis, J. (2021). **Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers**. International Journal of Production Economics, 231, 107831. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107831>

* Li, J., & Kassem, M. (2021). **Applications of distributed ledger technology (DLT) and Blockchain-enabled smart contracts in construction**. Automation in construction, 132, 103955.

* Lisitsa, S., Levina, A., & Lepekhin, A. (2019). **Supply-chain management in the oil industry**. In E3S Web of Conferences (Vol. 110, p. 02061). EDP Sciences.

* Lu, J., Wu, S., Cheng, H., Song, B., & Xiang, Z. (2021). **Smart contract for electricity transactions and charge settlements using blockchain**. Applied stochastic models in business and industry, 37(3).

* Ménard, C., & Shirley, M. M. (2014). **The contribution of Douglass North to new institutional economics**. In Institutions, property rights, and economic growth: the legacy of Douglass North. Cambridge University Press, Cambridge.

* Mittal, A. (2020). **Smart Contract Development with Solidity and Ethereum: Building Smart Contracts with the Azure Blockchain**. BPB Publications.

* Mohammadi, R. (2023). **The Smart Contracts in the Oil, Gas and Petrochemical Industry**. International Journal of Innovation in Management, Economics and Social Sciences, 3(3).

* Mukhtarova, A. R., & Lesnova, N. I. (2019, December). **Smart con-**

tracts in international trade in services in the field of intellectual property. In International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019) (pp. 240-243). Atlantis Press.

* Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., & Goldfeder, S. (2016). **Bitcoin and cryptocurrency technologies: A comprehensive introduction**. Princeton University Press.

* Omar, I. A., Jayaraman, R., Debe, M. S., Salah, K., Yaqoob, I., & Omar, M. (2021). **Automating procurement contracts in the health-care supply chain using blockchain smart contracts**. IEEE access, 9, 37397-37409.

* Petratos, P. N., Ljepava, N., & Salman, A. (2020, February). **Blockchain technology, sustainability and business: A literature review and the case of Dubai and UAE**. In Sustainable Development and Social Responsibility—Volume 1: Proceedings of the 2nd American University in the Emirates International Research Conference, AUEIRC'18–Dubai, UAE 2018. Cham: Springer International Publishing.

* Pranto, T. H., Noman, A. A., Mahmud, A., & Haque, A. B. (2021). **Blockchain and smart contract for IoT enabled smart agriculture**. PeerJ Computer Science, 7, e407.

* Rauchs, M., Blandin, A., Bear, K., & McKeon, S. B. (2019). **2nd global enterprise blockchain benchmarking study**. Available at SSRN 3461765.

* Sebastian-Cardenas, D. J., Gourisetti, S. N. G., Saha, S. S., Khan, K., Tillman, L. C., Cali, U., & Hughes, T. (2022, November). **Cybersecurity and privacy aspects of smart contracts in the energy domain**. In 2022 IEEE 1st Global Emerging Technology Blockchain Forum: Blockchain & Beyond (iGETblockchain) (pp. 1-6). IEEE.

- * Tapscott, D. and Tapscott, A. (2016) **Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World**. Penguin, New York.
- * Werbach, K., & Cornell, N. (2017). **Contracts Ex Machina**. Duke Law Journal, 67(2).
- * Xu, Y., Chong, H. Y., & Chi, M. (2021). **A review of smart contracts applications in various industries: a procurement perspective**. Advances in Civil Engineering, 2021(1), 5530755.
- * Zhang, M. (2021). **Smart Contracts and Solidity Code Summarization Doctoral dissertation**, Politecnico di Torino.
- * Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X. and Wang, H. (2017) **An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends**. Proceedings 2017 IEEE 6th International Congress on Big Data, Honolulu, 25-30 June 2017. <https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85>